

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ ВИПРОБУВАНЬ НА БАЗІ МОБІЛЬНИХ РОБОТО-ТЕХНІЧНИХ ПЛАТФОРМ

Запропоновано інноваційну технологію експериментального дослідження аеро- гідродинамічних характеристик гвинтів із застосуванням мобільних робототехнічних платформ.

Ключові слова: Гвинтові рушії, аеро- гідродинамічні характеристики, мобільні робото-технічні платформи, автоматизовані системи, бездотові прилади.

Вступ

Велика трудомісткість і вартість створення та налаштувального устаткування для експериментального дослідження аеро- гідродинамічних характеристик гвинтів є причиною та чинником пошуку інноваційних технологічних процесів автоматизованого випробування. Потреби виконання робіт з обстеження, відео моніторингу, контрольного виміру у сільському господарстві, лісівництві, при надзвичайних ситуаціях, екологічному обстеженні у повітрі на землі та на воді є причиною екстенсивного розвитку мобільних робототехнічних систем (МРТС) [1-4]. Останнє є чинником пошуку нових типів апаратів, рушіїв та інших елементів, а також причиною розробки нових форм і принципів їх експериментального дослідження [2, 5]. Нові потреби є причиною пошуків виконання нових експериментальних системних випробувань та їх протоколювання. Причиною нових викликів: потреба суттєвого зменшення вартості устаткування та збільшення точності, достовірності та обсягів вибірок [6-9].

2. А наліз останніх публікацій

В роботі [1] викладено та узагальнено досвід різних країн бувшого СНД в сфері механізації та автоматизації технологічних процесів механічної обробки та складання. Викладено прогресивні висновки з автоматизації гнучкого автоматизованого та комп'ютеризованого виробництва, інформатизації та систем числового програмного керування технологічним устаткуванням. Однак, здійснення наступних кроків розвитку і розширення сфер нового впровадження робото-технічних систем, що забезпечуватимуть розширення функціональних можливостей представляється у роботі [2]. Її результати переформовують нашу уяву про потенціальні можливості безпечних апаратів.

В роботі [3] представлено безпілотні літальні апарати радіаційної розвідки і сільськогосподарського призначення. Продемонстровані в ній можливості літальних апаратів переконливо свідчать про перехід до принципово нового устаткування, що утворює інноваційні можливості для моніторингу та окремих виробничих потреб огляду і спостереження у сільському господарстві. Подальшому розгляду застосування групи дронів як компонент багатопільових автоматизованих технологічних комплексів присвячено роботу [4]. В роботі викладено математичні моделі, що описують динаміку апарату для комплексного застосування груп безпілотних літальних апаратів при виконанні технологічних задач.

В роботі [5] розглянуто розробку інструменту штучного інтелекту та сенсорних систем. Продемонстровано, що їх застосування у системах інформатизації мобільних роботів з маніпулятором на борту, описується нелінійними моделями, для яких запропоновано ефективні методи оцінки впливу параметрів процесу на величину похибки координат. В роботі [6] викладено особливості проєктування зазватів для антропоморфних роботів. Продемонстровано, як аналітичний розв'язок оберненої задачі кінематики відкриває нові можливості проєктування їх елементів. В роботі [7] наочно продемонстровано як нові можливості проєктування безпілотних апаратів відкривають нові застосування, впровадження яких гальмується відсутністю ефективних систем експериментального випробування елементів нових технічних рішень. Приклади систем, що дозволяють визначати аеродинамічні характеристики різноманітних об'єктів представлено у роботі [8]. Другий прикладом таких споруд надано в роботі [9]. Однак не зважаючи на фундаментальність досліджень аеродинамічних характеристик в таких трубах їх завантаженість та висока вартість досліджень в них фактично унеможливає їх проведення. Іншими прикладами малогабаритного устаткування є труби, що застосовуються для досліджень вентиляційних систем [9]. Однак дослідження в них обмежується тільки повітряним середовищем.

Таким чином, головною не розв'язаною задачею є: пошук та побудова ефективних систем для експериментального дослідження аеро- гідродинамічних характеристик гвинтів та елементів конструкцій.

Причиною та чинником пошуку нових інноваційних технологічних процесів автоматизованого випробування є соціальна не доступність еспериментального устаткування аеродинамічних труб та їх послуг.

3. Мета та задачі дослідження

Підвищити ефективність та розширити можливості виміру і дослідження впливу форм на характеристики рушіїв пропелерного та гвинтового типу. Для досягнення поставленої мети сформульовані наступні задачі:

- розробити структуру автоматизованої системи керування (АСК) випробуваннями, до складу якої включено МРТС;
- розробити структуру вимірювальної системи, що забезпечує автоматичну керуємість та бездротове керування та інформаційний обмін;
- розробити структуру мобільної платформи з маніпулятором на борту та Wi-Fi камерою, що керується по радіоканалу.

4. Формування структури автоматизованої системи випробувань

4.1. Розробка структури автоматизованої системи випробувань, до складу якої включено МРТС

Для реалізації і дослідження потенціальних можливостей МРТС та систем бездротового керування і випробування було розглянуто наступну структуру АСК, концептуальна модель якої подана на рисунку 1.

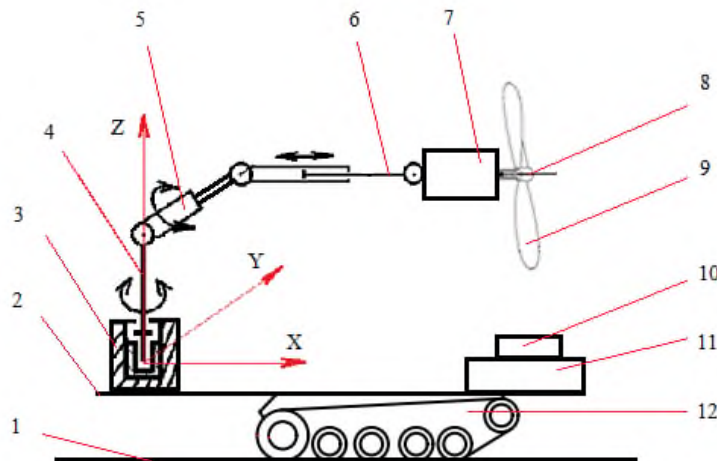


Рисунок 1 – Схематичне представлення концептуальної структури устаткування для експериментального виміру характеристик.

Концептуальна структура устаткування містить наступні елементи: 1 – смуга для руху МРТС; 2 – адаптер для кріплення функціонального устаткування; 3 – опорно-упорний вузол із приводом базової ланки; 4, 5, 6 перша, друга та третя ланки маніпулятора відповідно; 7 – блок приводу пропелера із системою керування і прийому передачі даних, устаткування та блок виміру параметрів експерименту; 8 – вузол кріплення пропелера до валу; 9 – дослідний пропелер; 10 – блок відео Wi-Fi камер, ультра звукових та інфрачервоних датчиків перешкод система прийому та передачі і навігаційної апаратури; 11 – системи керування маніпулятором та рухом платформи; 12 – платформа МРТС на колісному або на гусеничному ході.

Модель АСК передбачала поділ на три частини. Перша з них МРТС разом із маніпулятором на борту, що забезпечує рух за програмою досліджень, який керований по радіо каналу (РК). Друга устаткування, яке проводить весь комплекс вимірів за програмою випробувань та їх протоколювання і передачу по РК до третьої частини. До складу третьої частини включено засоби комунікації (прийому і передачі по РК), обробки, збереження, формування проєкту рішень.

Такий поділ МРТС експериментальних випробувань на три частини, перша з яких забезпечує переміщення за заданою програмою рухів та заміру параметрів, а друга завдяки наявному маніпулятору забезпечує зміну кутів нахилу повітряного потоку, що набігатиме. Заміна платформи наземного руху на надводну забезпечуватиме дослідження гідродинамічних характеристик, якщо в устаткуванні передбачено необхідну герметизацію.

4.2. Розробка випробувальної бездротової системи виміру і експериментального дослідження аерогідродинамічних характеристик

Для забезпечення виміру експериментальних характеристик гвинтових рушіїв необхідно, щоб АСК забезпечувала стабілізацію частоти обертання і тільки за цих умов відбувався одночасно вимір сил і моментів сил, температури, тиску і вологості повітря. При гідродинамічному випробуванні вимірюється ще і густина та в'язкість води. Для виміру сил моментів та частоти обертання було запропоновано схему випробувань, яку представлено на рис. 1 А та Б.

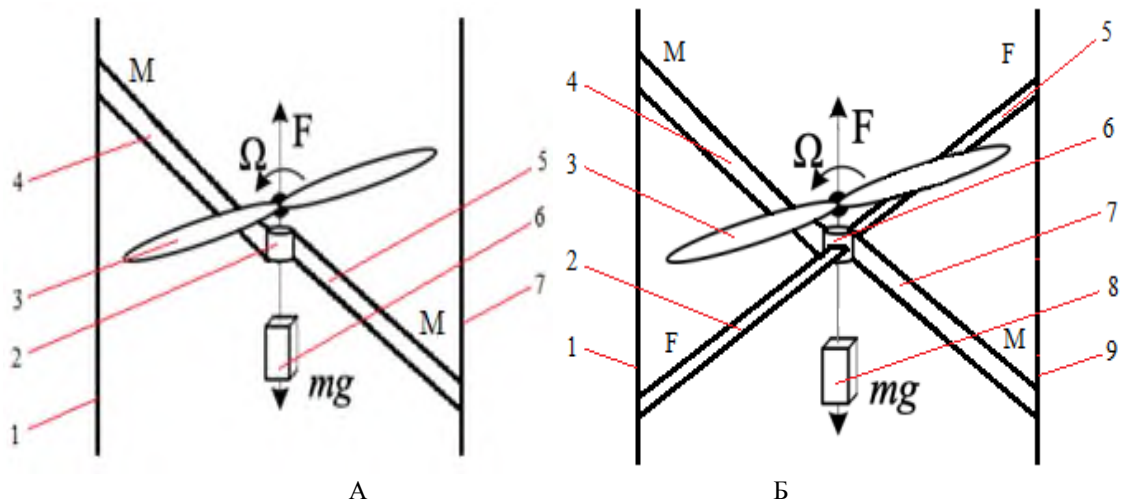


Рисунок 2 – Схематичне представлення ідеї виміру: А – моменту сил опору, що діє на гвинт при обертанні; Б – одночасного виміру і моменту сил та підйомної сили гвинта. На рисунку 1 А вжиті позначення: 1, 7 - несучі стійки; 2 - привод ротору пропелеру; 3- гвинтовий рушій; 4, 5 - балки з тензодатчиками для виміру моменту сил; 6 – навантажувальний пристрій. На рисунку 1 Б вжиті позначення: 1,9 - несучі стійки; 2, 5 - балки з тензодатчиками для виміру сил тяги; 3 - гвинтовий рушій; 4, 7 - балки з тензодатчиками для виміру моменту сил; 6 - привод ротору пропелеру; 8 - навантажувальний пристрій.

Система виміру параметрів як структурний елемент АСК експериментальних випробувань передбачає можливості реєстрації і протоколювання режимних параметрів випробування та додаткових параметрів, що описують стани середовища та систем. Їх перелік, та вимоги до них визначають типи апаратури виміру: температури, вологості та тиску навколишнього середовища, частоти обертання гвинта, сила тяги, моменту сил опору, швидкості та кута потоку, що набігає.

4.3. Розробка структури мобільної платформи з маніпулятором на борту та Wi-Fi камерою, що керується по радіоканалу

Проведення аеро- гірдинамічних випробувань об'єктів різного призначення потребує створення умов їх ламінарного обтікання, що у свою чергу потребуватиме створення режимів прямолінійних поступальних рухів. Для забезпечення поступальних рівномірних рухів систему необхідно звільнити від зайвих зв'язків, що є причиною нерівномірних сил та моментів у тому числі і дротів. У зв'язку з цим реалізація рішення про усунення всіх дротів обумовлює вимогу автономності МРТС і наявності завадостійких бездротових прийомо-передавачів даних та сигналів керування всіма елементами системи. Останнє забезпечується застосуванням бездротових мережових протоколів Інтернету речей, наприклад технології LoRa, для роботи на великих відстанях: LoRaWAN, ITU-T Y.4480.

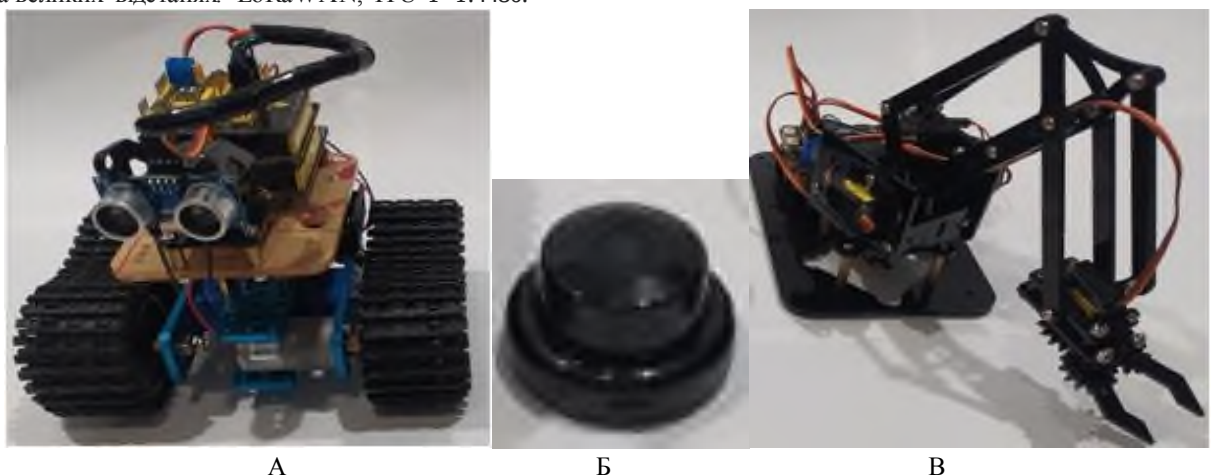


Рисунок 3. – Фото макетів структурних елементів МРТС: А – платформа на гусеничному ході, що керується по радіо каналу; Б – Wi-Fi камера; В – маніпулятор з чотирма ступенями рухливості, що керується по радіо каналу.

Комплексне застосування ультра-звукових датчиків перешкод та Wi-Fi камер огляду інформаційно доповнює даними алгоритми керування рухом МРТС та маніпулятором.

5. Обговорення результатів випробування

За результатами аналізу структури експериментального устаткування для дослідження аеро-гідродинамічних характеристик об'єктів було переглянуто традиційний спосіб їх продувки в аеродинамічних трубах. Відтворення аналогічного потоку, що обтікає об'єкт дослідження забезпечується рухом МРТС, що утворює аналогічну картину відносного обтікання. Її відмінність характеризується збуреннями, що вносять елементи МРТС. Якщо обтікання проводиться у закритому приміщенні великих розмірів збуренням, що виникає у наслідок руху МРТС можна нехувати. Таким чином, витрати енергії на створення потоків повітря за рахунок роботи потужних вентиляторів або компресорів і витрати енергії на рух із заданною кінетичною енергією об'єкту, який досліджується відрізняються у декілька порядків. У зв'язку з цим застосування мобільних робототехнічних платформ, що запропоновано усуває надмірні експлуатаційні витрати не кажучи вже про витрати на створення вартісного устаткування компресорів або вентиляторів.

Висновки: Комплексне об'єднання мобільних робото-технічних систем, випробувального устаткування, сенсорних систем та засобів керування і передачі інформаційних потоків по радіоканалу утворює передумови для розвитку систем експериментального випробування гідро- аеродинамічних характеристик об'єктів та окремих елементів. Автоматизовані системи для експериментального дослідження інноваційних рухів на основі мобільних робото-технічних систем, що керовані по радіо каналу складатимуть ефективну альтернативу по відношенню до стаціонарних аеро- динамічних труб за вартістю та простотою будови.

References

1. Muliar, Yu. I. Avtomatyzatsiia vyrobnytstva v mashynobuduvanni. Chastyna I : navchalnyi posibnyk / Yu. I. Muliar, S. V. Repinskyi. – Vinnytsia : VNTU, 2019. – 99 s.
2. Strutynskyi V.B., Hurzhii A.M. : Monohrafiia. – Zhytomyr: PP «Ruta»,2023 . – 524 s.
3. Kanchenko V. Ya. Bezpilotni litalni aparaty radiatsiinoi rozvidky i silskohospodarskoho pryznachennia : monohrafiia / V. Ya. Kanchenko, R. V. Kamaushenko, O. O. Kliuchnykov, O. P. Marynoshenko, M. L. Chepur; NAN Ukrainy, In-t problem bezpeky AES. – Chornobyl: In-t problem bezpeky AES, 2015. - 180 s. ISBN 978-966-02-7530-0
4. Dykhta Leonid.,Trunov Alexander, Zhuravska Irina. The Drone Grups as a Component of Multy Purpose Automatized Technological Complexes/ Warsaw. Diamond trding tour. 2020. 56p. ISBN978-83-66401-75-4 56 p.
5. Alexander Trunov Development of an artificial intelligence tool and sensing in informatization systems of mobile robots. SMARTINDUSTRY-2024: Int. Conf. on Smart Automation & Robotics for Future Industry, April 18 - 20, 2024, Lviv, Ukraine.pp.15-31 .
6. Alexander Trunov. Formation of the method of description and control of the relative position of the gripper phalanges for anthropomorphic robot SMARTINDUSTRY-2024: Int. Conf. on Smart Automation & Robotics for Future Industry, April 18 - 20, 2024, Lviv, Ukraine pp.100-110.
7. Hylevych Serhii. Letaiuchy avtomobil. Maibutnie nastalo. Land Aircraft Carrier. Xpeng Aeroht. <https://m.youtube.com/watch?v=awGckl8pXQw> data zvenennia 27. 04. 2025.
8. Aerodynamichna truba. https://vue.gov.ua/%D0%90%D0%B5%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D0%BD%D0%B0%D0%BC%D1%96%D1%87%D0%BD%D0%B0_%D1%82%D1%80%D1%83%D0%B1%D0%B0. Data zvenennia 29.04.2025.
9. Aerodynamichna truba <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%B5%>, Data zvenennia 29.04.2025.
10. Milekovskiy V. O. M 60 Eksperymentalni aerodynamichni doslidzhennia ventyliatsiinykh system. – Kyiv.: Yuston, 2021. – 216 s. ISBN 978-617-7854-49-3

DOI 10.34132/mspc2025.01.06.32

Alexander Trunov
Artem Malko
Maxim Heyna

AUTOMATIC TESTING SYSTEMS BASED ON MOBILE ROBOTIC PLATFORMS

An innovative technology for experimental research of aero-hydrodynamic characteristics of propellers using mobile robotic platforms is proposed.

Keywords: Propeller engines, aero-hydrodynamic characteristics, mobile robotic platforms, automated systems, drone-unmanned devices.

Відомості про автора / Information about the Author

Трунов Олександр, доктор технічних наук, професор, професор кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій факультету комп'ютерних наук Чорноморського національного університету імені Петра Могили, м. Миколаїв, Україна. E-mail: trunovalexandr@gmail.com.

Alexander Trunov, Doctor of Technical Sciences, Professor. Professor of the Department of Automation and Computer-Integrated Technologies, Faculty of Computer Sciences, Petro Mohyla Black Sea National University, Mykolaiv, Ukraine. E-mail: trunovalexandr@gmail.com.

Малько Артем, студент спеціальності «Автоматизації, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» факультету Комп'ютерних наук, Чорноморського національного університету імені Петра Могили, м. Миколаїв, Україна. E-mail: amalko037@gmail.com

Malko Artem, student of the specialty «Automation, Computer-Integrated Technologies and Robotics» of the Faculty of Computer Sciences, Petro Mohyla Black Sea National University, Mykolaiv, Ukraine. E-mail: amalko037@gmail.com.

Хейна Максим, студент спеціальності «Автоматизації, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» факультету Комп'ютерних наук, Чорноморського національного університету імені Петра Могили, м. Миколаїв, Україна. E-mail: mv.heyna@gmail.com

Heina Maksym, student of the specialty «Automation, Computer-Integrated Technologies and Robotics» of the Faculty of Computer Sciences, Petro Mohyla Black Sea National University, Mykolaiv, Ukraine. E-mail: mv.heyna@gmail.com.

© О. Трунов, А. Малько, М. Хейна
20.05.2025.

Стаття отримана редакцією

